

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2019-481

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01M 13/00 (2019.01)
G01M 1/00 (2006.01)
G01B 21/16 (2006.01)
G01P 3/64 (2006.01)
F01D 5/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

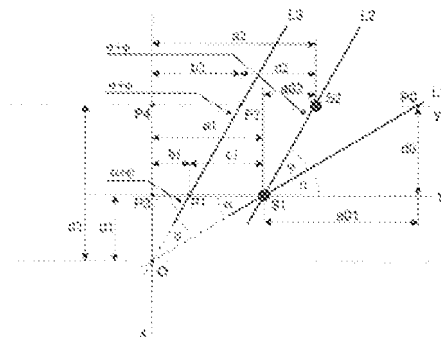


ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **22.07.2019**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **03.02.2021**
(Věstník č. 5/2021)

- (71) Přihlašovatel:
Ústav Termomechaniky AV ČR, v.v.i., Praha 8,
Libeň, CZ
- (72) Původce:
Ing. Pavel Procházka, CSc., Praha 8, Kobylisy, CZ
- (74) Zástupce:
NEOLEGAL - advokátní a patentová kancelář, Ing.
Jaroslav Novotný, Římská 2135/45, 120 00 Praha 2,
Vinohrady



(54) Název přihlášky vynálezu:

**Způsob stanovení natočení břitů lopatky
lopatkového stroje za rotace se zvýšenou
přesností**

(57) Anotace:

Způsob stanovení natočení břitů lopatky lopatkového stroje za rotace, spočívá v tom, že na stator lopatkového stroje se v rovině kolmé na osu rotace lopatkového stroje, která je zároveň různá od rovnoběžné roviny, v níž leží střed (O) natáčení břitů lopatky, umístí první senzor (S1) průchodu břitů lopatky a v rovině kolmé na osu rotace lopatkového stroje, která je zároveň různá od roviny prvního senzoru (S1) a zároveň je různá od rovnoběžné roviny, v níž leží střed (O) natáčení břitů lopatky se umístí druhý senzor (S2) průchodu břitů lopatky, přičemž se známými metodami pro měření času stanoví časové difference průchodu břitů lopatek v různých otáčkách pod senzorem (S1) průchodu břitů lopatky a pod senzorem (S2) průchodu břitů lopatky, ze kterých se následně vypočte hodnota úhlového natočení (ϕ) lopatky jako aritmetický průměr jednotlivých měření nebo vážený aritmetický průměr jednotlivých měření.

Způsob stanovení natočení bříty lopatky lopatkového stroje za rotace se zvýšenou přesností

Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu stanovení natočení bříty lopatky lopatkového stroje za rotace, který je založen na měření času průchodu sledované lopatky okolo dvou bezkontaktních senzorů umístěných na statoru stroje, přičemž jeden nebo oba senzory mohou být samostatně využity k získání informace o natočení bříty lopatky. Výsledný údaj o natočení bříty lopatky za rotace je získán výpočtem ze dvou nebo tří současně stanovených údajů, což umožňuje dosažení zvýšené přesnosti výsledného údaje.

10

Dosavadní stav techniky

15

Na rotující lopatky velkých lopatkových strojů, např. plynových a parních turbín, kompresorů a ventilátorů, působí síly, které jsou výslednicí odstředivých sil a aerodynamických sil, jimiž proudící médium, např. vodní pára, působí na lopatky lopatkového stroje. V důsledku působení těchto sil dochází i ke změně tvaru lopatek, zejména k jejich prodloužení a natočení, resp. rozkroucení. Tyto charakteristiky mají jednak vliv na účinnost stroje a jednak mohou být i projevem poškození příslušné lopatky lopatkového stroje. Je-li některá z lopatek poškozena trhlinou, snižuje se hodnota její tuhosti v ohybu a rovněž torzní tuhosti. V důsledku působení tlaku páry, odstředivých a setrvačných sil při rotaci dojde ke zvýšenému ohybu poškozené lopatky a současně dojde i ke změně úhlu sklonu bříty lopatky vzhledem k rovině rotace. Postupující poškození lopatky trhlinou je charakterizováno trendem změny mezilopatkových vzdáleností a současně trendem natáčení bříty lopatky.

20

25

Z těchto skutečností je zřejmé, že je důležité získat informace o skutečném úhlovém natočení bříty lopatky za provozu. Střídavá složka této charakteristiky poskytuje informaci o torzních kmitech lopatky, které mohou mít vliv na její životnost. V patentovém dokumentu CZ 307571 B6 "Způsob identifikace poškozené lopatky lopatkového stroje za provozu" je popsán způsob stanovení úhlu sklonu bříty lopatky vzhledem k rovině rotace pomocí dvou statorových senzorů, přičemž jeden senzor je umístěn u náběžné hrany lopatek a druhý u odtokové hrany. Pomocí časoměrných zařízení jsou měřeny a ukládány časy průchodů všech lopatek lopatkového stroje. Z časových údajů se následně vyhodnotí časové difference časů průchodu lopatek a z nich se vypočtou mezilopatkové vzdálenosti a současně lopatkové vzdálenosti, které charakterizují natočení lopatky. Pro stanovení časů průchodu lopatek je zapotřebí třetí, referenční snimač, který slouží k identifikaci jednotlivých lopatek a odečtu nulového časového údaje v každé otáčce. Vzhledem k tomuto času jsou pak vyhodnoceny časy průchodu lopatky pod náběžným a odtokovým senzorem a z nich stanovena časová difference a příslušné mezilopatkové vzdálenosti, které nepřímě vypovídají o úhlu natočení bříty lopatky. Nevýhodou je, že časové difference jsou stanoveny jako rozdíl dvou rozdílů časových hodnot a to: 1. času průchodu lopatky pod senzorem náběžné hrany a nulového času referenční značky a 2. času průchodu lopatky pod senzorem odtokové hrany a nulového času referenční značky. Tento složitější postup výpočtu může vést ke zvýšené chybě měření.

35

40

45

Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky odstraňuje způsob stanovení natočení bříty lopatky lopatkového stroje za rotace podle tohoto vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že se na stator lopatkového stroje umístí dva bezkontaktní senzory průchodu bříty lopatky, které leží v rovinách kolmých na osu rotace lopatkového stroje a zároveň rovnoběžných s rovinou, rovněž kolmou na osu rotace lopatkového stroje, v níž leží střed natáčení bříty lopatky, kolem něž se otáčí břit lopatky při úhlovém natočení. Důležitou podmínkou je, že rovina, jíž prochází střed natáčení bříty lopatky, není totožná s rovinou, v níž leží senzory průchodu bříty lopatky. V takovém případě při úhlovém

50

55

natočení břitu lopatky dojde k časovému posunu okamžiku průchodu břitu lopatky pod bezkontaktními senzory. Tento časový posun se pro každý sledovaný režim provozu kola, např. otáčky, a každý senzor stanoví zařízením pro měření času. Z rozdílu časů průchodu lopatky je pak ve vyhodnocovacím zařízení vyhodnocena hodnota úhlového natočení břitu lopatky zvlášť pro každý senzor.

Objasnění výkresů

Vynález je dále blíže objasněn pomocí výkresu, kde na obr. 1 je schematicky zobrazen v půdorysu pohled na koncový profil, tedy břit lopatky v různých polohách, a to při průchodu natočeného i nenatočeného břitu lopatky pod senzory průchodu lopatky a při průchodu natočeného i nenatočeného břitu lopatky středem natáčení břitu lopatky.

Příklady uskutečnění vynálezu

Způsob stanovení natočení břitu lopatky lopatkového stroje za rotace je demonstrován na příkladu podle obr. 1, kde jsou znázorněny dva senzory S1 a S2 průchodu břitu lopatky, pod nimiž právě prochází břit L1 lopatky ve výchozí úhlové poloze.

V půdorysu na obr. 1 se břit L1 lopatky při otáčení lopatkového kola pohybuje ve směru tangenciální osy y, tedy v obvodovém směru. Břit L1 lopatky svírá s osou y úhel α. V jiném časovém okamžiku, tedy v jiné otáčce stroje, může dojít k tomu, že se břit L1 lopatky natočí o úhel φ. Taková situace je znázorněna břitem L2 lopatky, který právě prochází pod senzorem S1 průchodu břitu lopatky. V jistém časovém okamžiku prochází břit L2 lopatky středem O natáčení břitu lopatky. Tato situace je zobrazena jako břit L3 lopatky, který je vůči ose y natočen o úhel α+φ. Senzor S1 průchodu břitu lopatky a střed O natáčení břitu lopatky leží ve dvou různých rovinách, kolmých na osu otáčení lopatkového kola, mezi nimiž je nenulová vzdálenost d1. Osa otáčení lopatkového kola je ve znázorněném příkladu rovnoběžná s osou x souřadnicového systému. Rozdílnému času průchodu břitu L3 lopatky středem O natáčení břitu lopatky a průchodu břitu L2 lopatky pod senzorem S1 průchodu břitu lopatky odpovídá na ose y vzdálenost c1, tedy vzdálenost mezi body P1 a S1 na obr. 1.

Způsob I.

Vzdálenost c1 můžeme vyjádřit jako

$$c1 = \Omega R \Delta t1$$

kde Ω [rad/s] je úhlová frekvence otáčení lopatkového kola, R je poloměr lopatkového kola a Δt1 je naměřená časová difference průchodu břitu L2 a L3 pod senzorem S1 průchodu břitu lopatky. Pro úhlové veličiny v obr. 1 platí vztahy

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d1}{c1}$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \frac{d1}{b1}$$

Z obou vztahů můžeme odvodit výsledný vztah pro výpočet úhlového natočení φ břitu lopatky

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{d1 \operatorname{tg} \alpha}{d1 - \Omega R \Delta t1 \operatorname{tg} \alpha} - \alpha$$

Při měření senzorem S2 svírá břit L1 lopatky s osou y úhel α . V jiném časovém okamžiku, tedy v jiné otáčce stroje, může dojít k tomu, že se břit L1 lopatky natočí o úhel φ . Taková situace je znázorněna břitem L2 lopatky, který právě prochází pod senzorem S2 průchodu břitu lopatky. V jistém časovém okamžiku prochází břit L2 lopatky středem O natáčení břitu lopatky. Tato situace je zobrazena jako břit L3 lopatky, který je vůči ose y natočen o úhel $\alpha + \varphi$. Senzor S2 průchodu břitu lopatky a střed O natáčení břitu lopatky leží ve dvou různých rovinách, kolmých na osu otáčení lopatkového kola, mezi nimiž je nenulová vzdálenost $d2$. Osa otáčení lopatkového kola je ve znázorněném příkladu rovnoběžná s osou x souřadnicového systému. Rozdílnému času průchodu břitu L3 lopatky středem O natáčení břitu lopatky a průchodu břitu L2 lopatky pod senzorem S2 průchodu břitu lopatky odpovídá na ose y vzdálenost $c2$, tedy vzdálenost mezi body P2 a S2 na obr. 1.

15 Způsob II.

Obdobně jako v předchozím případě můžeme vzdálenost $c2$ při měření senzorem S2 vyjádřit jako

$$c2 = \Omega R \Delta t2$$

20

kde Ω [rad/s] je úhlová frekvence otáčení lopatkového kola, R je poloměr lopatkového kola a $\Delta t2$ je naměřená časová difference průchodu břitu L2 a L3 pod senzorem S2 průchodu břitu lopatky. Pro úhlové veličiny v obr. 1 platí vztahy

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d2}{a2}$$

25

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \frac{d2}{b2}$$

30

Z obou vztahů můžeme odvodit výsledný vztah pro výpočet úhlového natočení φ břitu lopatky

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{d2 \operatorname{tg} \alpha}{d2 - \Omega R \Delta t2 \operatorname{tg} \alpha} - \alpha$$

Způsob III.

35 Uvažujme nyní třetí možnost, kdy břit L1 lopatky leží pod senzorem S1 a zároveň prochází bodem P0, přičemž svírá s osou y úhel α . Na senzorech S1, S2 registrujeme průchody břitu lopatky v časech $t3S1$ a $t3S2$, jejichž časová difference těchto údajů je

$$\Delta t3 = t3S1 - t3S2$$

40

Pro úhlové veličiny v obr. 1 platí vztahy

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d0}{\Omega R \Delta t3} \quad , \quad \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \frac{d0}{\Omega R \Delta t3'}$$

45

kde $\Delta t3'$ je časová difference časů průchodů břitu lopatky v jiné otáčce po natočení břitu L1 lopatky

do polohy L_2 o úhel φ

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{d\theta}{\Omega R \Delta t_3'} - \operatorname{arctg} \frac{d\theta}{\Omega R \Delta t_3}$$

5 Pro stanovení výsledného úhlu natočení lopatky jsou k dispozici následující způsoby výpočtu:

1. Aritmetický průměr hodnot φ stanovených způsobem I a II.
2. Aritmetický průměr hodnot φ stanovených způsobem I a III.
- 10 3. Aritmetický průměr hodnot φ stanovených způsobem II a III.
4. Aritmetický průměr φ stanovených způsobem I, II a III.
- 15 5. Vážený aritmetický průměr hodnot φ stanovených způsobem I a II.
6. Vážený aritmetický průměr hodnot φ stanovených způsobem I a III.
7. Vážený aritmetický průměr hodnot φ stanovených způsobem II a III.
- 20 8. Vážený aritmetický průměr φ stanovených způsobem I, II a III.

Tímto způsobem je dosaženo potlačení soustavných chyb a zvýšení přesnosti měření úhlu natočení
břitu lopatky.

25

Průmyslová využitelnost

30 Způsob stanovení natočení břitu lopatky lopatkového stroje za rotace lze využít pro monitorování
stavu lopatek velkých lopatkových strojů za provozu a jejich ochranu před devastujícími haváriemi.
Vynález lze využít zejména při zajištění bezpečného provozu parních a plynových turbín, velkých
ventilátorů a kompresorů, kde dochází v důsledku odstředivých sil a superpozici vibrací
k nadměrnému namáhání dlouhých rotujících lopatek, které může vést při jejich odlomení k havarii
stroje s velkými ekonomickými ztrátami a v případě elektrárenských turbosoustrojí i
35 celospolečenskými škodami. Znalost skutečné hodnoty natočení břitu lopatek je také důležitá pro
optimalizaci účinnosti lopatkového stroje.

PATENTOVÉ NÁROKY

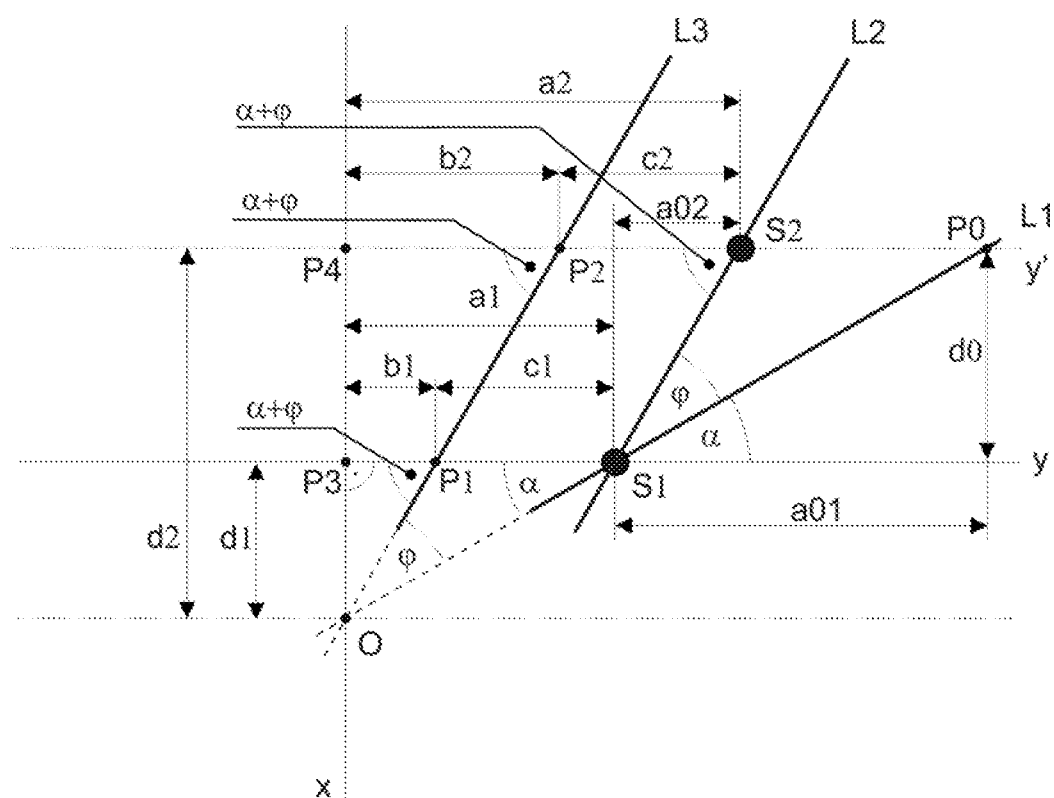
1. Způsob stanovení natočení břitu lopatky lopatkového stroje za rotace, **vyznačující se tím**, že
 5 na stator lopatkového stroje se v rovině kolmé na osu rotace lopatkového stroje, která je zároveň
 různá od rovnoběžné roviny, v níž leží střed (O) natáčení břitu lopatky, umístí první senzor (S1)
 průchodu břitu lopatky a v rovině kolmé na osu rotace lopatkového stroje, která je zároveň různá
 od roviny prvního senzoru (S1) průchodu břitu lopatky a zároveň je různá od rovnoběžné roviny,
 10 v níž leží střed (O) natáčení břitu lopatky, se umístí druhý senzor (S2) průchodu břitu lopatky,
 přičemž se známými metodami pro měření času stanoví časové difference průchodu břitu lopatek
 v různých otáčkách pod prvním senzorem (S1) průchodu břitu lopatky a pod druhým
 senzorem (S2) průchodu břitu lopatky, ze kterých se následně vypočte hodnota úhlového natočení
 (φ) lopatky jako aritmetický průměr nebo vážený aritmetický průměr z jednotlivých měření prvním
 15 senzorem (S1) průchodu břitu lopatky a druhým senzorem (S2) průchodu břitu lopatky, nebo
 prvním senzorem (S1) průchodu břitu lopatky a současně prvním senzorem (S1) průchodu břitu
 lopatky a druhým senzorem (S2) průchodu břitu lopatky, nebo druhým senzorem (S2) průchodu
 břitu lopatky a současně prvním senzorem (S1) průchodu břitu lopatky a druhým senzorem (S2)
 průchodu břitu lopatky nebo prvním senzorem (S1) průchodu břitu lopatky a druhým
 20 senzorem (S2) průchodu břitu lopatky a současně prvním senzorem (S1) průchodu břitu lopatky
 a druhým senzorem (S2) průchodu břitu lopatky.

1 výkres

Seznam vztahových značek

- x osa x souřadnicového systému (axiální směr)
- y osa y souřadnicového systému (obvodový směr otáčení)
- y' posunutá osa souřadnicového systému
- O střed natáčení břitu lopatky
- L1 břit lopatky – výchozí poloha
- L2 břit lopatky – poloha po natočení
- L3 břit lopatky – posunutá poloha po natočení
- S1 první senzor průchodu břitu lopatky
- S2 druhý senzor průchodu břitu lopatky
- P0 průsečík břitu L1 lopatky a osy y'
- P1 průsečík břitu L3 a osy y
- P2 průsečík břitu L3 a osy y'
- P3 průsečík kolmice na osu y procházející středem O natáčení břitu lopatky a osy y
- P4 průsečík kolmice na osu y procházející středem O natáčení břitu lopatky a osy y'
- α výchozí úhel břitu lopatky vůči ose y
- φ hodnota úhlového natočení břitu lopatky
- a1 vzdálenost mezi průmětem senzoru S1 do osy y a průsečíkem P3 kolmice procházející
středem O natáčení břitu lopatky a osy y
- a2 vzdálenost mezi průmětem senzoru S2 do osy y a průsečíkem P4 kolmice procházející
středem O natáčení břitu lopatky a posunuté osy y'
- a01 vzdálenost průsečíku P0 a průsečíku osy y' a kolmice vedené senzorem S1 na osu y'
- a02 rozdíl vzdáleností a1 a a2
- b1 vzdálenost mezi průsečíkem P1 a průsečíkem P3 kolmice procházející středem O
natáčení břitu lopatky a osy y
- b2 vzdálenost mezi průsečíkem P2 a průsečíkem P4 kolmice procházející středem O
natáčení břitu lopatky a posunuté osy y'
- c1 rozdíl vzdáleností a1 a b1
- c2 rozdíl vzdáleností a2 a b2
- d0 vzdálenost osy y a posunuté osy y'

- d1 vzdálenost roviny kolmé na osu otáčení lopatkového stroje, v níž leží senzor S1 průchodu břitu lopatky a roviny kolmé na osu otáčení lopatkového stroje, v níž leží střed O natáčení břitu lopatky
- d2 vzdálenost roviny kolmé na osu otáčení lopatkového stroje, v níž leží senzor S2 průchodu břitu lopatky a roviny kolmé na osu otáčení lopatkového stroje, v níž leží střed O natáčení břitu lopatky



Obr. 1